ARUP

Amazon Data Services Italy slr

Progetto di Data Center Edificio A (Zibido San Giacomo)

ADS Italy srl - Progetto di Data Center Edificio A (Zibido San Giacomo)

Piano Energetico

:

A | 30 Giugno 2026

Mirabella Alessio Costantino
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Milano
Ingegnere
29.06.2026 20:04:01 GMT+02:00

Signed with NamirialSign

MATTEO BRUNO
01/07/2026 12:19:14 UTC+0200

This report takes into account the particular instructions and requirements of our client. It is not intended for and should not be relied upon by any third party and no responsibility is undertaken to any third party.

Job number

Arup Italia S.r.l.
Corso Italia 1
Milan
20122
Italy
arup.com

Document Verification

Project title	Progetto di Data Centre
Document title	Piano Energetico
Job number	306134
Document ref	
File reference	

Revision	**Date**	**Filename**	ADS Edificio A – Piano Energetico		
A	30 Giugno 2026	**Description**	SIA_Integrazioni contributi MASE - Allegato su Piano Energetico		
			Prepared by	**Checked by**	**Approved by**
		Name	FC GDS	ACM SA	SL
		Signature			
		Filename			
		Description			
			Prepared by	**Checked by**	**Approved by**
		Name			
		Signature			
		Filename			
		Description			
			Prepared by	**Checked by**	**Approved by**
		Name			
		Signature			

Issue Document Verification with Document ✓

Contents

1. Introduzione 1
2. Consumi energetici 1
2.1 Bilancio energetico del Data Centre 1
2.2 Fabbisogno energetico complessivo e analisi PUE 4
3. Emissioni 6
3.1 Metodologia d'analisi 6
3.2 Emissioni di Scope 1 – Generatori d'emergenza 7
3.3 Emissioni di Scope 2 – Generazione energia acquistata e consumata dal data center 9
3.4 Emissioni di Scope 3 – Costruzione e apparecchiature IT 11
4. Analisi costi-benefici allaccio alla rete di teleriscaldamento 16
4.1 Assunzioni 16
4.2 Riferimenti 17
4.3 Metodo di calcolo 18
4.4 Verifica dei potenziali ricettori di calore 21
4.5 Conclusioni 23

Tabelle

Tabella 1. Consumi (perdite) legati alle perdite dei sistemi elettrici necessari ai fini del funzionamento delle sale dati 2
Tabella 2. Tabella riassuntiva delle condizioni operative e relative potenze delle DAHU 2
Tabella 3. Consumi dei componenti HVAC delle sale dati e locali tecnici 3
Tabella 4. Profilo operativo del carico IT di un Data Centre secondo ASHRAE Standard 90.1 - 2010 3
Tabella 5. Consumi totali relativi al carico IT e all'illuminazione delle sale dati 3
Tabella 6. Consumo dei generatori diesel durante i test periodici annuali 4
Tabella 7. Consumi dell'area admin del Data Centre 4
Tabella 8. Consumi relativi al calcolo del PUE 5
Tabella 9. Parametri di input 8
Tabella 10. Parametri di input per la stima delle emissioni in Scope 1. 9
Tabella 11. Parametri di input per la stima delle emissioni in Scope 2. 10
Tabella 12. Elementi considerati nell'analisi dello Scope 3. 11
Tabella 13 . Emissioni di carbonio incorporate associate alle fasi del ciclo di vita incluse nella valutazione. 13
Tabella 14. Sintesi degli impatti delle emissioni generate incorporate 15
Tabella 15 - Dati di input per il calcolo 17
Tabella 16. Confronto intensità carbonica recupero di calore e reti di teleriscaldamento 20
Tabella 17. Sintesi dei potenziali heat offtakers. 21

Figure

Figura 1. Schema delle emissioni di gas climalteranti. 6

Figura 2. Consumo carburante a carichi parziali per taglia di generatore. 7
Figura 3. Emissioni Scope 1. 9
Figura 4. Emissioni Scope 2. 10
Figura 5. Risultato di Carbon Designer 3D per l'edificio. 12
Figura 6. Emissioni di carbonio per fase del ciclo di vita. 13
Figura 7. Incidenza dei sistemi costruttivi in $kgCO_{2e}/m^2$ 14
Figura 8. Opzioni ad alto e basso impatto: confronto temporale delle emissioni di Scope 3 associate all'IT. 15
Figura 9 - Intensità carbonica della rete elettrica nazionale (CRREM v2.0) 18

1. Introduzione

Il presente documento si inserisce nell'ambito della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) avviata per il progetto di Data Center Edificio A (Zibido San Giacomo) e contribuisce alla risposta alle richieste di chiarimento formulate dal MASE. Le integrazioni fornite rispondono alle osservazioni avanzate dall'Autorità Competente in merito ai consumi energetici e le emissioni di CO_2 collegate, le emissioni durante l'intero ciclo di vita e la valutazione costi-benefici del recupero di calore.

Si è fatto riferimento a molteplici fonti normativi, riferimenti internazionali e benchmark di settore, in particolare facendo riferimento agli allegati II e III del Regolamento di esecuzione della Commissione 1364/2024, la normativa CEN/Cenelec EN 50600-4-2 e lo standard CRREM.

2. Consumi energetici

Il presente capitolo riporta la stima dei consumi energetici del Data Centre, sviluppata in conformità ai requisiti dell'art. 16 del Decreto-legge 16 settembre 2024 n. 131, alle specifiche degli Allegati II e III del Regolamento di esecuzione (UE) 1364/2024 e alla normativa CEN/Cenelec EN 50600-4-2. Le valutazioni sono state effettuate sulla base dei dati di progetto disponibili, delle potenze nominali, delle apparecchiature e di ipotesi di funzionamento rappresentative per i diversi sistemi. Inoltre, nei calcoli sono state adottate alcune semplificazioni, in quanto le valutazioni risultano interamente riferite all'attuale fase progettuale.

2.1 Bilancio energetico del Data Centre

Il bilancio energetico del Data Centre Edificio A è stato sviluppato mediante la scomposizione dei principali contributi energetici per sistema, al fine di evidenziare il peso relativo delle diverse utenze e supportare le successive valutazioni in termini di efficienza energetica.

L'analisi distingue in particolare:

- Perdite dei sistemi elettrici a servizio dei carichi IT (UPS, trasformatori, quadri elettrici e distribuzione in LV);
- Consumi dei sistemi HVAC delle sale dati (Direct Air Handling Unit – DAHU ed estrattori) e dei sistemi di raffrescamento dei locali tecnici/elettrici (Computer Room Air Conditioning - CRAC);
- Consumi interni alle sale dati (carico IT e ausiliari);
- Consumi associati ai gruppi elettrogeni;
- Consumi delle aree uffici e spazi ausiliari (admin area).

2.1.1 Sistemi elettrici a servizio dei carichi IT

I sistemi elettrici a servizio dei carichi IT comprendono l'insieme delle infrastrutture necessarie alla trasformazione, distribuzione e continuità dell'alimentazione elettrica a servizio dei carichi IT. Tali sistemi non rappresentano carico IT diretto, ma costituiscono infrastruttura di supporto indispensabile al funzionamento del Data Centre.

Nel presente bilancio energetico, i sistemi elettrici sono quantificati secondo le seguenti macrocategorie, in coerenza con l'impostazione del modello di calcolo:

- Perdite UPS, ovvero l'energia dissipata dai gruppi di continuità durante il processo di conversione e gestione dell'alimentazione;
- Perdite di trasformazione, associate ai trasformatori elettrici (HV/MV, MV/LV);
- Perdite dei quadri elettrici per effetto Joule nei conduttori e nei dispositivi di interruzione e protezione.

- Perdite di distribuzione IT in bassa tensione (LV), riferite ai cablaggi di alimentazione dei carichi IT;
- Perdite di distribuzione in bassa tensione (LV) associate ai carichi meccanici.

Le perdite sopra descritte sono stimate in funzione del carico elettrico transitante, valutato ai diversi livelli di utilizzo del Data Centre (100%, 75%, 50% e 25%) secondo il profilo di utilizzo riportato nel capitolo G3.1.3.16 dell'addendum "cj" dello standard ANSI/ASHRAE Standard 90.1 - 2010, e dei rendimenti caratteristici dei singoli componenti.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei consumi energetici per i principali sottosistemi elettrici a servizio dei carichi IT, espressi rispettivamente in termini di energia complessiva (valori aggregati a partire da parametri orari).

Tabella 1. Consumi (perdite) legati alle perdite dei sistemi elettrici necessari ai fini del funzionamento delle sale dati

UPS	Trasformatore HV/MV	Trasformatore MV/LV	Quadri Elettrici	Distribuzione LV
[MWh,el]	*[MWh,el]*	*[MWh,el]*	*[MWh,el]*	*[MWh,el]*
40,58	943	999	1886	3636

2.1.2 HVAC sale dati e CRAC locali elettrici

Il sistema di ventilazione e trattamento aria delle sale dati (DAHU) garantisce il controllo termoigrometrico degli ambienti e rappresenta una delle principali componenti dei consumi elettrici "non-IT" del Data Centre.

I consumi delle DAHU sono stati stimati mediante un modello a regimi operativi, con le ipotesi di funzionamento stagionali. In particolare, sono stati considerati:

- il contributo dei ventilatori delle DAHU, determinato a partire dalle potenze nominali e dai profili orari di utilizzo in funzione del carico IT;
- la variazione delle condizioni operative in funzione delle condizioni climatiche esterne, distinguendo tra regimi di sola ventilazione/trattamento aria (temperatura esterna minore di 28,8°C) e regimi di raffrescamento evaporativo (temperatura esterna > 28,8°C).

La logica di funzionamento sopra descritta è stata implementata nel modello di calcolo al fine di rappresentare in modo realistico la variabilità dei consumi del sistema in funzione delle condizioni operative. Un riassunto delle potenze relative alle condizioni operative del sistema è riportato nella tabella sottostante:

Tabella 2. Tabella riassuntiva delle condizioni operative e relative potenze delle DAHU

Load	P ventilazione + evaporativo	P ventilazione
[%]	*[kW,el]*	*[kW,el]*
100%	31,10	27,60
75%	13,70	12,16
50%	4,70	4,17
25%	0,90	0,80

Oltre alle unità DAHU a servizio delle sale dati, sono stati considerati i consumi associati ai sistemi di raffrescamento dei locali tecnici (e.g., electrical rooms), inclusi sistemi CRAC dedicati, dimensionati in funzione dei carichi termici delle apparecchiature elettriche. Tali consumi variano in funzione dell'efficienza dei generatori e delle condizioni climatiche esterne, che determinano il carico termico da smaltire e, conseguentemente, il fabbisogno di raffrescamento dei locali tecnici.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei consumi energetici per i sistemi HVAC delle sale dati e CRAC dei locali elettrici, espressi in termini di energia complessiva (valori aggregati a partire da parametri orari).

Tabella 3. Consumi dei componenti HVAC delle sale dati e locali tecnici

DAHU	Estrattori	CRAC
[$MWh_{,el}$]	[$MWh_{,el}$]	[$MWh_{,el}$]
6140	5478	288

2.1.3 Sale dati

Il consumo energetico della data hall è dominato dal carico IT, che rappresenta il consumo utile del Data Centre e costituisce il denominatore per il calcolo dell'indicatore PUE. Il carico IT include tutte le apparecchiature di elaborazione dei dati, quali server, sistemi di storage e networking. Il profilo di consumo del carico IT utilizzato nella modello di calcolo è coerente a quanto riportato nel capitolo G3.1.3.16 dell'addendum "cj" dello standard ANSI/ASHRAE Standard 90.1 - 2010.

Tabella 4. Profilo operativo del carico IT di un Data Centre secondo ASHRAE Standard 90.1 - 2010

Mesi	Carico IT
1; 5; 9	25%
2; 6; 10	50%
3; 7; 11	75%
4; 8; 12	100%

In aggiunta al consumo IT, è stata considerata la componente relativa all'illuminazione delle sale dati, assunta costante nel tempo e indipendente dal livello di carico IT.

Tabella 5. Consumi totali relativi al carico IT e all'illuminazione delle sale dati

Carico IT	Luci
[$MWh_{,el}$]	[$MWh_{,el}$]
168.907	40

2.1.4 Gruppi elettrogeni

I gruppi elettrogeni rappresentano sistemi di back-up destinati a garantire la continuità dell'alimentazione elettrica in caso di interruzione della fornitura da rete. Tali sistemi non sono generalmente operativi in condizioni normali di esercizio, ma entrano in funzione in condizioni di emergenza o durante attività di test e manutenzione programmata. Ai fini del presente bilancio energetico, il consumo di carburante dei generatori diesel è stato stimato a partire dalle caratteristiche tecniche fornite dal costruttore, in particolare la potenza delle macchine e il consumo specifico di diesel [g/kWh], entrambi valutati a diversi livelli di carico (100%, 75%, 50% e 25%). A tali dati sono state associate le ore di funzionamento annue previste, anch'esse suddivise in funzione dei diversi regimi di carico. Il consumo orario di diesel è stato quindi determinato in base alla potenza erogata per ogni carico e successivamente convertito in volume mediante l'utilizzo della densità del combustibile. Sebbene i consumi dei gruppi elettrogeni risultino generalmente marginali su base annua, essi sono stati comunque inclusi nel bilancio energetico complessivo, in quanto rilevanti ai fini della completezza dell'analisi.

Ai fini del calcolo, è stata effettuata una distinzione tra due tipologie di generatori, in quanto macchinari con funzioni differenti all'interno del data center. In particolare, si è considerato il consumo dei Critical Generators, destinati all'alimentazione dei carichi critici (quali IT load, UPS e sistemi di raffreddamento delle sale dati), e degli House Generators, dedicati invece ai carichi non critici (ad esempio uffici, illuminazione e servizi ausiliari).

Poiché i Critical Generators sono dimensionati per servire un carico significativamente maggiore, essi presentano una potenza installata più elevata e un numero superiore di unità rispetto agli House Generators. Di conseguenza, il loro consumo complessivo risulta nettamente predominante.

Tabella 6. Consumo dei generatori diesel durante i test periodici annuali

	Critical Generator	House Generator
Potenza singolo Generatore [$MW_{,el}$]	2,8	0,8
Numero di generatori	16	3
Ore complessive di funzionamento	138	26
Consumo tot [m^3 carburante]	50	3

2.1.5 Aree uffici e spazi ausiliari

I consumi energetici delle aree uffici e degli spazi ausiliari comprendono l'insieme delle utenze elettriche e termiche associate alle funzioni di supporto del Data Centre, quali ambienti amministrativi e locali accessori. In particolare, sono stati considerati i consumi relativi a:

- sistemi di climatizzazione invernale ed estiva;
- illuminazione degli ambienti;
- usi elettrici generali (piccole apparecchiature quali computer).

Per quanto riguarda i sistemi di climatizzazione, i consumi sono stati stimati in funzione dei rendimenti caratteristici delle unità esterne VRV e delle condizioni climatiche esterne, che influenzano il fabbisogno termico degli ambienti e il conseguente regime di funzionamento degli impianti. Le potenze installate sono state determinate sulla base dei dati di progetto e delle potenze nominali delle apparecchiature, mentre i consumi energetici sono stati stimati mediante l'applicazione di profili di utilizzo rappresentativi delle modalità di occupazione degli spazi.

A differenza della data hall, tali consumi non presentano un funzionamento continuo, ma risultano variabili nel tempo in funzione dell'effettivo utilizzo degli ambienti, nonché delle condizioni climatiche esterne.

La tabella sottostante riporta i consumi complessivi, suddivisi tra consumi regolati e non regolati da normativa. In particolare, i consumi regolati comprendono quelli associati ai locali con presenza di persone e sono quindi soggetti ai requisiti della normativa nazionale sull'efficienza energetica (Legge 10), mentre i consumi non regolati includono i restanti usi energetici non soggetti a tali disposizioni.

Tabella 7. Consumi dell'area admin del Data Centre

Consumi ambienti occupati (carichi regolati)	Consumi processi / altri usi (carichi non regolati)
[$MWh_{,el}$]	[$MWh_{,el}$]
196,94	363,54

2.2 Fabbisogno energetico complessivo e analisi PUE

Il fabbisogno energetico complessivo del Data Centre è stato determinato mediante l'aggregazione dei contributi dei diversi sottosistemi analizzati nei paragrafi precedenti, includendo i carichi IT, i sistemi elettrici di supporto, i sistemi HVAC, i gruppi elettrogeni e gli altri consumi ausiliari. I consumi energetici sono stati calcolati su base oraria, considerando i diversi regimi operativi e le condizioni climatiche di riferimento, e successivamente aggregati al fine di ottenere i valori complessivi.

I risultati sono riportati in forma sintetica nella tabella seguente, distinguendo tra i principali contributi al fabbisogno energetico del Data Centre.

L'efficienza energetica del Data Centre è stata valutata mediante l'indicatore Power Usage Effectiveness (PUE), definito come il rapporto tra l'energia totale assorbita e l'energia assorbita dai carichi IT. Il calcolo del PUE è stato effettuato includendo, al numeratore, l'insieme dei consumi del Data Centre (carichi IT, perdite elettriche, sistemi HVAC, gruppi elettrogeni e carichi ausiliari), e, al denominatore, il solo carico IT, al fine di valutare il livello di efficienza complessiva dell'infrastruttura.

Tabella 8. Consumi relativi al calcolo del PUE

Centro di Consumo	Energia annuale [MWh/anno]	Partial PUE
IT Load (actual)	168.907	100,00%
UPS Losses	41	0,02%
Wiring Losses	1.689	1,00%
LV distribution losses	3.378	2,00%
Switchgears Losses	1.886	1,12%
MV/LV Trasformer Losses	999	0,59%
HV/MV transformer losses	943	0,56%
Mech. LV Distribution Losses	258	0,15%
Lighting in data halls	40	0,02%
Small Power	496	0,29%
DAHU	6.140	3,64%
EF	5.479	3,24%
IW pumps	3	0,00%
Water treatment feed pumps	1	0,00%
Small power	496	0,29%
Generators Sustain power input (in kWe)	408	0,24%
HRU	18	0,01%
CRAC Electrical	238	0,14%
CRAC Catcher	30	0,02%
CRAC MMR	21	0,01%
Regulated FOH & BOH	197	0,12%
Unregulated FOH & BOH	364	0,22%
TEF	2	0,00%
PUE		1,137

Il valore di PUE medio annuale ottenuto, preliminarmente, è di 1,137 e riflette il contributo dei diversi sistemi al fabbisogno energetico complessivo, risultando fortemente influenzato in particolare dai consumi associati ai sistemi di raffrescamento e alle perdite della distribuzione elettrica.

3. Emissioni

3.1 Metodologia d'analisi

Questo capitolo analizza le emissioni complessive di carbonio associate alla fase di costruzione e di uso del progetto di data center Edificio A sito a Zibido San Giacomo.

La presente valutazione considera le emissioni contabilizzate secondo lo Scope 1, 2 e 3, come definiti dal GHG Protocol del *World Resources Institute*. Prima di entrare nel dettaglio dell'analisi, è utile richiamare la distinzione tra i tre Scopi, che classificano le emissioni in funzione della loro origine e del grado di controllo esercitato:

- Scope 1: emissioni dirette generate da fonti di proprietà o sotto il controllo dell'operatore del data center, quali, ad esempio, la combustione di carburante nei generatori di emergenza;
- Scope 2: emissioni indirette associate alla generazione dell'energia acquistata (elettricità, vapore, caldo e freddo) consumata dal data center. Tali emissioni, pur essendo generate a monte presso il fornitore, sono attribuite ai consumi energetici del sito;
- Scope 3: tutte le ulteriori emissioni indirette che si manifestano lungo l'intera catena del valore, incluse quelle legate ai fornitori, alla logistica, agli spostamenti dei dipendenti, nonché alla produzione e al fine vita delle apparecchiature.

Nel contesto della transizione del settore dei data center verso fonti energetiche rinnovabili, le emissioni di Scope 3 assumono crescente rilevanza. Tali emissioni, pur non essendo direttamente controllabili dall'operatore, costituiscono una componente significativa delle emissioni complessive lungo la catena del valore. Per questo motivo, la loro inclusione risulta fondamentale al fine di assicurare una valutazione esaustiva e rappresentativa dell'impatto climatico complessivo.

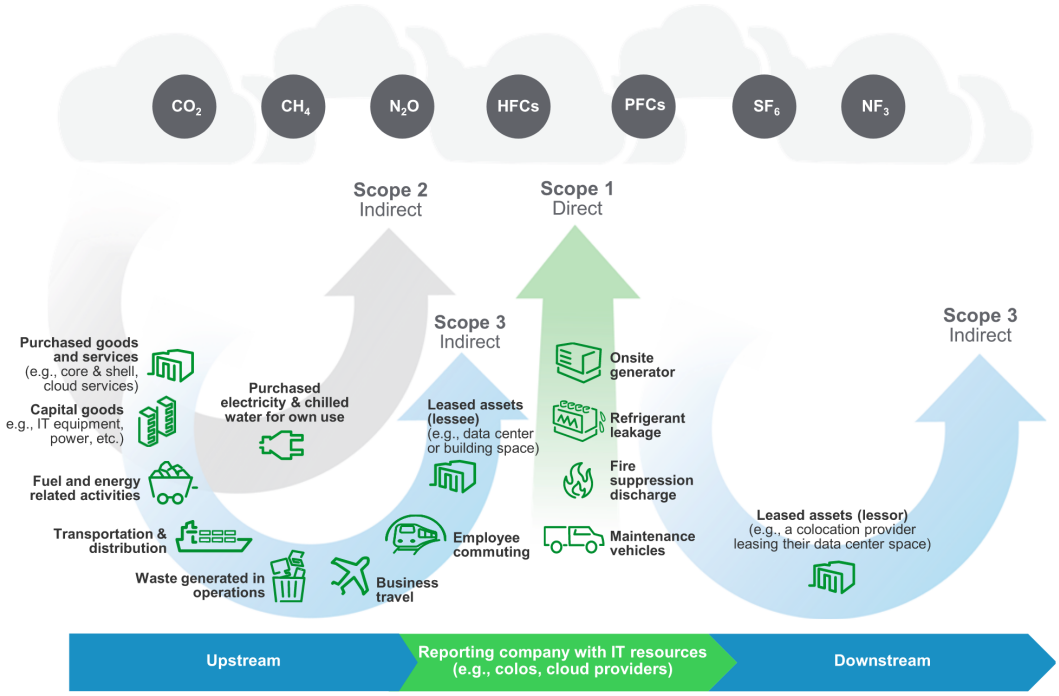

Figura 1. Schema delle emissioni di gas climalteranti.

La Figura 1 illustra la relazione tra le emissioni di Scope 3 e quelle di Scope 1 e 2, nonché le diverse categorie di rendicontazione comprese all'interno dello Scope 3. Ai fini della presente analisi, le categorie considerate nel calcolo delle emissioni di Scope 3 includono quelle associate ai beni e ai servizi acquistati (core & shell) e ai beni capitali (apparecchiature IT).

3.2 Emissioni di Scope 1 – Generatori d'emergenza

La valutazione delle emissioni di Scope 1 riguarda i test di funzionamento dei generatori di emergenza installati nel sito di progetto, in quanto tali sistemi non operano in condizioni ordinarie ma esclusivamente durante eventi di emergenza e, in modo prevalente, durante le attività periodiche di test e manutenzione. Nello specifico, le emissioni risultanti dipendono sia dal programma di manutenzione adottato sia dal tipo di combustibile utilizzato. Nello specifico, le emissioni risultanti dipendono sia dal programma di manutenzione adottato sia dal tipo di combustibile utilizzato.

Per il progetto di data center è prevista l'installazione di 19 generatori di emergenza, destinati a entrare in esercizio in caso di interruzione della fornitura elettrica. Nel dettaglio, sono previsti:

- 16 generatori da 2,8 MWe ciascuno, a servizio delle sale dati;
- 3 generatori "house" (chiamati così perché alimentano i servizi interni dell'edificio/data centre tipo illuminazione, ausiliari, sistemi di supporto, ecc. e non direttamente i carichi IT principali) da 0,8 MWe ciascuno a servizio delle aree uffici e della sezione pozzi.

I generatori saranno alimentati a biodiesel (HVO, Hydrotreated Vegetable Oil) e gestiti secondo un piano di manutenzione e test che prevede un funzionamento complessivo inferiore a 500 ore/anno. In particolare, il programma di prova comprende:

- Test bisettimanali (bi-weekly run): effettuati con frequenza ogni due settimane (circa 26 eventi/anno), con durata pari a 6 minuti per generatore. Ciò comporta un tempo di funzionamento annuo pari a circa 2,6 ore/anno per generatore;
- Test annuale per singolo generatore: della durata di 60 minuti, corrispondente a 1 ora/anno per generatore;
- Test annuale con tutti i generatori in esercizio: della durata di 1 ora, con partecipazione simultanea di tutte le macchine, equivalente a 1 ora/anno per generatore;
- Attività di manutenzione in media tensione (Medium Voltage Maintenance): con durata pari a circa 4 ore ma frequenza pluriennale (ogni 3–6 anni)

Il programma di test sopra descritto costituisce la base per la stima delle emissioni di Scope 1 associate al funzionamento dei gruppi elettrogeni. Sulla base della curva media di funzionamento a carico parziale dei gruppi elettrogeni riportata di seguito, sono stati determinati i valori di consumo di combustibile corrispondenti alle diverse condizioni operative, successivamente impiegati nelle elaborazioni di calcolo.

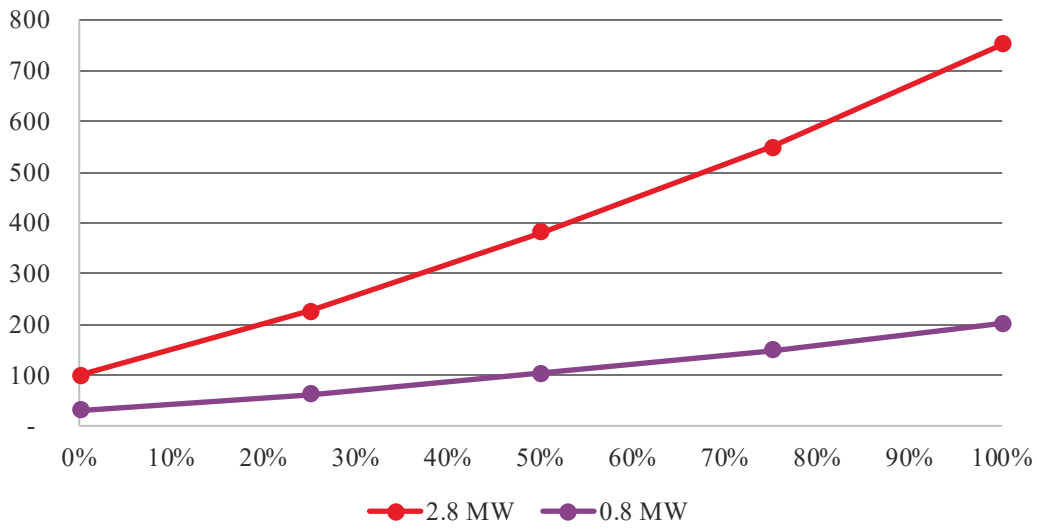

Figura 2. Consumo carburante a carichi parziali per taglia di generatore.

La tabella seguente riporta un riepilogo completo dei parametri di input utilizzati per la valutazione delle emissioni di Scope 1. Sulla base del consumo annuo di HVO, le emissioni sono state calcolate utilizzando le proprietà di un combustibile conforme allo standard EN 15940.

Tabella 9. Parametri di input

Descrizione	Unità di misura	Sale dati	Uffici
Taglia generatore	MWe/generatore	2.8	0.8
n° generatori	n°	16	3
Potenza elettrica totale generatori	MWe	45	2
Biweekly run	min/anno	6	6
	test/anno	26	26
	h/generatore	2.6	2.6
	h (tot generatori)	42	8
	l consumati	4,160	234
	m^3 consumati	4	0
Test annuale singolo generatore	min/anno	60	60
	test/anno	1	1
	h/generatore	1.0	1.0
	h (tot generatori)	16	3
	l consumati	7,628	387
	m^3 consumati	8	0
Test annuale tutti in generatori	min/anno	60	60
	test/anno	1	1
	h/generatore	1.0	1.0
	h (tot generatori)	16	3
	l consumati	7,628	387
	m^3 consumati	8	0
Medium voltage maintenance	min/anno	240	240
	test/anno	1	1
	h/generatore	4.0	4.0
	h (tot generatori)	64	12
	l consumati	30,511	1,549
	m^3 consumati	31	2

Tali parametri sono stati applicati per stimare le emissioni attuali (2026) e le emissioni cumulative proiettate su 10 anni (2036) e ~25 anni (2050).

Tabella 10. Parametri di input per la stima delle emissioni in Scope 1.

Descrizione	Unità di misura	Edificio A	
		Sale dati	Uffici
Densità	t/m3	0.77	0.77
PCI	GJ/t	43	43
Fattore di emissione	tCO2/TJ	72	72
Consumo HVO	t	38.44	1.97
Energia termica	TJ	1.65	0.08
Emissioni Scope 1 per cluster (2026)	tCO2	119	6
Emissioni Scope 1 tot. (2026)	tCO2	125	
Emissioni Scope 1 tot. (2036)	tCO2	1,279	
Emissioni Scope 1 tot. (2050)	tCO2	3,122	

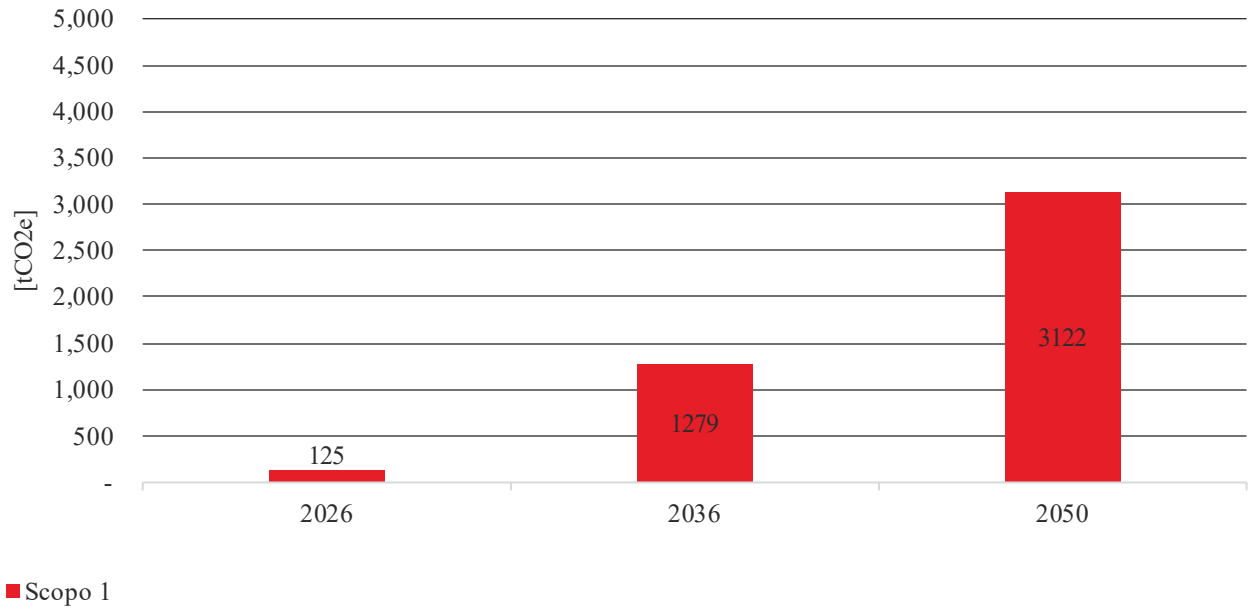

Figura 3. Emissioni Scope 1.

3.3 Emissioni di Scope 2 – Generazione energia acquistata e consumata dal data center

Oltre alle emissioni dirette (Scope 1), l'analisi include anche le emissioni indirette associate ai consumi energetici (Scope 2). Queste ultime sono state stimate a partire dai consumi energetici complessivi dell'Edificio A (sale dati e uffici), descritti nella Sezione 2.

Al fine di considerare esclusivamente l'energia elettrica prelevata dalla rete, dai consumi totali è stata sottratta la quota di energia prodotta dall'impianto fotovoltaico e autoconsumata, assunta con fattore di emissione nullo.

Successivamente, è stato adottato un fattore di emissione relativo all'energia elettrica della rete nazionale italiana, derivato dai database CRREM, utilizzato per il calcolo del ciclo di vita grazie alla disponibilità di proiezioni fino al 2050.
Tale fattore è stato applicato secondo un approccio *location-based*, in linea con il GHG Protocol, ovvero considerando l'intensità emissiva media della rete elettrica nazionale nel luogo di consumo, indipendentemente da eventuali scelte contrattuali o approvvigionamenti specifici di energia.

I fattori di emissione utilizzati riflettono sia lo stato attuale del mix energetico sia la sua evoluzione nel tempo, in coerenza con traiettorie di decarbonizzazione allineate agli obiettivi di 1,5 °C. Nello specifico, per i diversi orizzonti temporali di analisi sono stati utilizzati i seguenti fattori di emissione:

- Scenario 2026: è stato adottato il fattore relativo all'anno 2026 (0.200 kgCO2e/kWh);
- Scenario 2036: è stato utilizzato un fattore medio calcolato sul periodo 2026–2036 (0.130 kgCO2e/kWh), al fine di considerare le variazioni attese nel tempo e garantire una rappresentazione equilibrata delle tendenze;
- Scenario 2050: è stato utilizzato un fattore medio calcolato sul periodo 2026–2050 (0.096 kgCO2e/kWh), per tenere conto dell'evoluzione del mix elettrico nel lungo periodo.

Tabella 11. Parametri di input per la stima delle emissioni in Scope 2.

Edificio A					
Anno di analisi	**Periodo di analisi [anni]**	**Consumi energetici [MWh/yr]**	**Produzione PV [MWh/yr]**	**Elettricità da rete [MWh/yr]**	**Emissioni Scope 2 - Location based [tCO2e]**
2026	1	192,085	800	191,285	38,168
2036	10	1,920,851	800	1,920,051	248,964
2050	24	4,610,042	800	4,609,242	442,684

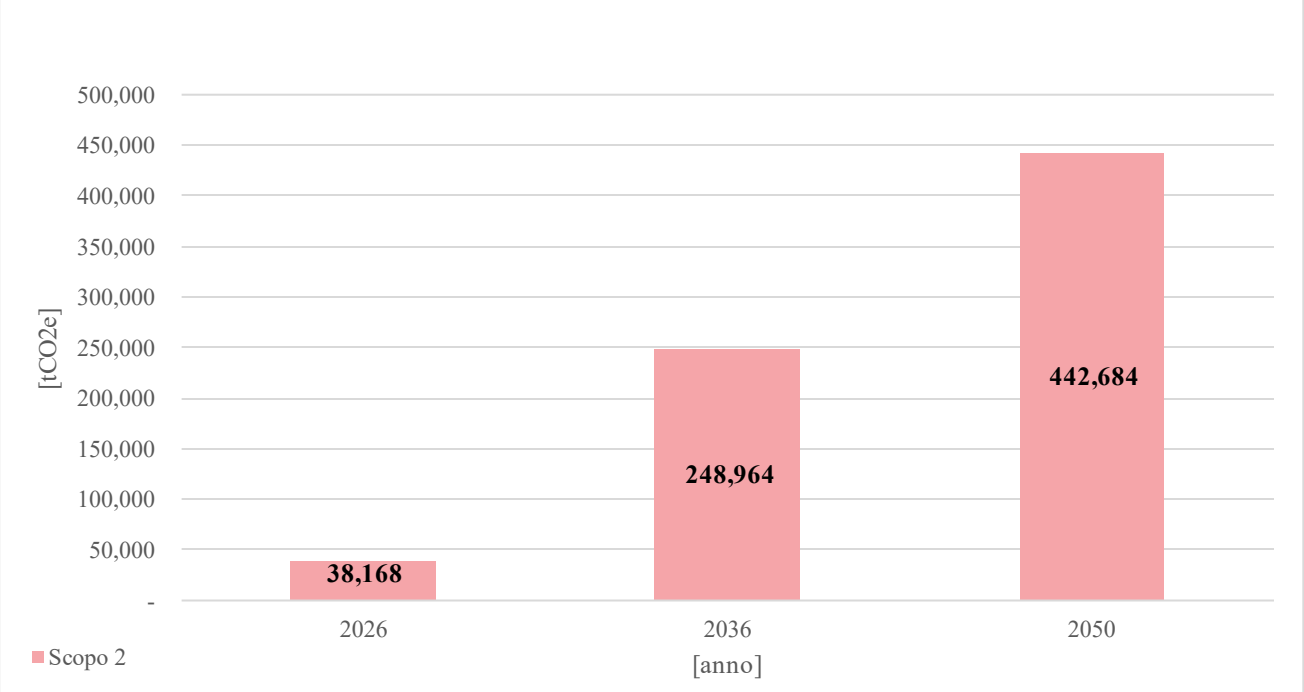

Figura 4. Emissioni Scope 2.

3.4 Emissioni di Scope 3 – Costruzione e apparecchiature IT

Per quanto riguarda la fase di costruzione, i moduli del ciclo di vita considerati nell'ambito della presente valutazione riguardano le fasi di produzione, costruzione, utilizzo e fine vita. Tali fasi del ciclo di vita considerate comprendono il reperimento e la produzione dei materiali da costruzione (A1-A3), il trasporto in cantiere (A4), la fase di costruzione (A5), l'uso dell'edificio (B1-B7), la dismissione e gestione dei rifiuti a fine vita (C1-C4). Tali moduli sono evidenziati nella Tabella 12 di seguito. I moduli operativi (B6-B7) non sono considerati in questa sezione, poiché vengono trattati separatamente.

Tabella 12. Elementi considerati nell'analisi dello Scope 3.

Fase di produzione			Fase di costruzione		Fase di utilizzo							Fase di fine vita				Oltre i confini del sistema		
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	D	D
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓			
Materie prime	Trasporto	Produzione	Trasporto	Processo di costruzione	Fase di utilizzo	Manutenzione	Riparazione	Sostituzione	Ristrutturazione	Consumo di energia	Uso di acqua	Distruzione	Trasporto	Trattamento rifiuti	Smaltimento rifiuti	Riutilizzare	Recupero	Riciclaggio

I confini del sistema adottati nell'analisi comprendono i principali sistemi costruttivi coinvolti nel progetto. Le strutture di elevazione (calcestruzzo prefabbricato), la soletta (calcestruzzo), l'involucro (pannello sandwich), il tetto (solette alveolari), le finiture interne (interni in cartongesso e pavimenti compositi) e le fondazioni (pali in calcestruzzo). La presente valutazione riguarda gli impianti e i componenti MEP, ma le apparecchiature IT sono trattate separatamente poiché richiedono un metodo di calcolo distinto e saranno discusse successivamente.

La metodologia di calcolo adottata segue un approccio bottom-up, basato sull'associazione delle quantità di materiali e dei componenti edilizi con i dati ambientali provenienti da banche dati di riferimento. Tali quantità sono state calcolate sulla base delle informazioni disponibili e delle rispettive superfici dei piani della costruzione proposta. L'analisi ha considerato un ciclo di vita del progetto di 50 anni.

L'analisi è stata condotta utilizzando il software One Click LCA, uno strumento riconosciuto a livello internazionale per la valutazione del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment* - LCA) degli edifici e conforme ai requisiti delle norme EN 15978, ISO 14040 e ISO 14044. One Click LCA fornisce uno strumento – Carbon Designer 3D – che consente la generazione di informazioni geometriche e quantitative del progetto, sulla base della superficie, associando materiali e sistemi costruttivi a specifici set di dati ambientali e alle corrispondenti Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (*Environmental Product Declaration* - EPD).

All'interno di OneClick LCA è stato inoltre applicato il framework europeo Level(s), sviluppato dalla Commissione Europea per armonizzare la misurazione delle prestazioni di sostenibilità nel settore edilizio. L'uso di Level(s) ha consentito di garantire la coerenza metodologica con i macro-obiettivi europei di riduzione delle emissioni di carbonio. I dati ambientali impiegati nell'analisi derivano da fonti sia primarie sia secondarie, come di seguito specificato:

- **Dati primari:** ottenuti direttamente da EPD verificate secondo la norma EN 15804, a seconda dalla disponibilità trovata nel database di OneClick, composta per EPD Europei (es. EPD International, IBU, Eco Platform). La selezione degli EPD è stata basata sulle scelte progettuali di ogni singolo prodotto, e ove non disponibile, prodotti simili sono stati adottati per rispettare le prestazioni dei materiali.
- **Dati secondari:** provenienti da banche dati di valori medi di impatto integrate in OneClick LCA, quali Ecoinvent v3, GaBi e dataset specifici del software. Questi dati sono stati utilizzati quando non sono disponibili EPD specifiche, selezionando dataset rappresentativi per tipologia e area geografica.

Il carbonio incorporato è quantificato come la somma del potenziale di riscaldamento globale (*Global Warming Potential* - GWP) dei gas serra emessi durante il ciclo di vita di prodotti e materiali.

3.4.1 Emissioni di Scope 3 – Ciclo di vita completo dell'edificio

Come indicato in precedenza, per modellare gli edifici è stato utilizzato un approccio semplificato (software parametrico Carbon Designer 3D) attraverso una modellazione, che ha consentito di stimare le quantità di

materiali da costruzione, in base alla destinazione d'uso, alla superficie dell'edificio (*Gross Building Area* - GBA) e al numero di piani fuori terra. Attraverso una modellazione parametrica che identifica i differenti elementi dell'edificio (facciate, pilastri, impalcati strutturali), è stato creato un modello semplificato che rappresenta l'edificio come un volume elementare con parametri standardizzati ricavati dagli standard industriali e da banche dati interne di edifici tipici. La Figura 1 sottostante mostra il volume geometrico dell'edificio.

La modellazione per il calcolo include anche una caratterizzazione manuale e personalizzata degli elementi costruttivi, sviluppata da Arup sulla base delle descrizioni delle tecnologie di costruzione fornite dal Cliente e adattata alle quantità stimate dal software di calcolo.

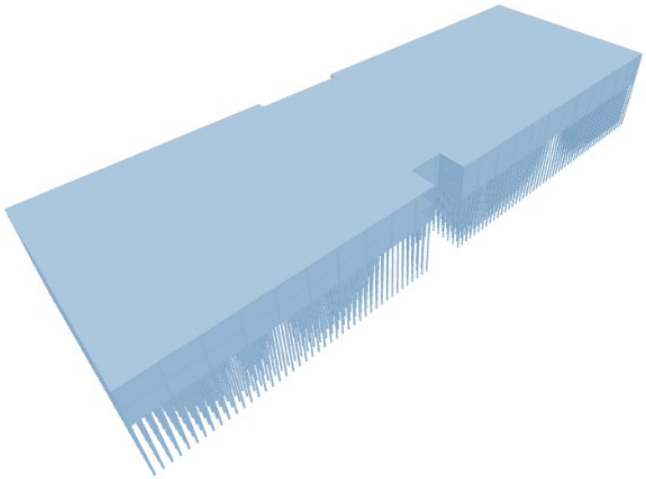

Figura 5. Risultato di Carbon Designer 3D per l'edificio.

Le emissioni sono generalmente sottostimate nelle fasi preliminari di progettazione, e la sottostima tende ad aumentare con il progredire del progetto. Questo fenomeno è noto come "*carbon creep*" ed è causato dall'incertezza iniziale riguardo alle quantità di materiali, nonché dall'uso di fattori di emissione generici.

Per ridurre il rischio di sottostima delle emissioni, si è ritenuto opportuno introdurre un fattore di incertezza per coprire l'incertezza e la disponibilità limitata di dati quantitativi relativi alle quantità e ai fattori di emissione dei materiali da costruzione, nonché le ipotesi relative alle quantità stimate dal software utilizzando il modello *shoebox*.

Questo fattore di incertezza complessivo è stato stimato al 17%, in conformità con la metodologia RICS (*Royal Institution of Chartered Surveyors*) delineata nel documento "*Whole-life carbon assessment for the built environment (2a edition, September 2023)*", suddiviso come segue:

- 6% di margine di contingenza dovuto alla fase di progettazione tecnica. Questo fattore tiene conto dell'incertezza associata alla fase di progettazione: quanto più il progetto è in fase preliminare, tanto maggiore è il margine di errore (ad esempio, dati incompleti, ipotesi di progettazione).
- 7% di incertezza relativa ai fattori di emissione dei materiali. Questo fattore riflette la qualità dei dati sulle emissioni utilizzati: i dati generici comportano una maggiore incertezza rispetto ai dati specifici provenienti dalle EPD dei prodotti effettivamente utilizzati nel progetto.
- 4% come fattore di incertezza relativo alle ipotesi sulle quantità stimate dal software. Questo fattore misura l'affidabilità delle quantità di materiale inserite: le quantità stimate comportano un'elevata incertezza rispetto a quelle misurate.

Una volta stabilita la metodologia di calcolo, con le rispettive incertezze, si ottengono i risultati indicati nella seguente tabella.

Tabella 13 . Emissioni di carbonio incorporate associate alle fasi del ciclo di vita incluse nella valutazione.

GBA [m2]	Fasi di produzione e costruzione A1-A5 [$kgCO_2e$]	Fase d'uso B1-B5 [$kgCO_2e$]	Fase di fine vita C1-C4 [$kgCO_2e$]	GWP TOTALE [$kgCO_2e/m^2$]	GWP Contingency 17% [$kgCO_2e/m^2$]
16,449.5	7,679,037.25	4,320,807.43	413,530.05	754.64	882.92

Tenendo conto delle assunzioni e della metodologia di calcolo sopra descritta e delle quantità di materiali alla fase attuale del progetto, e considerando il livello di precisione dell'analisi basata sui dati dei materiali raccolti finora, il valore di impatto dell'edificio per il carbonio incorporato risulta pari a **882.92 $kgCO_2e/m^2$ GBA.**

Il grafico (Figura 6. Emissioni di carbonio per fase del ciclo di vita.) mostra l'incidenza delle diverse fasi del ciclo di vita, in termini di GWP ($kgCO_2e/m^2$) per i valori calcolati in base alla superficie GBA. In linea generale, le fasi iniziali A1-A5, che comprendono la produzione e la lavorazione dei materiali da costruzione, tendono a generare impatti ambientali significativi, poiché rappresentano una parte rilevante del ciclo di vita dell'edificio in termini di consumo di risorse ed emissioni.

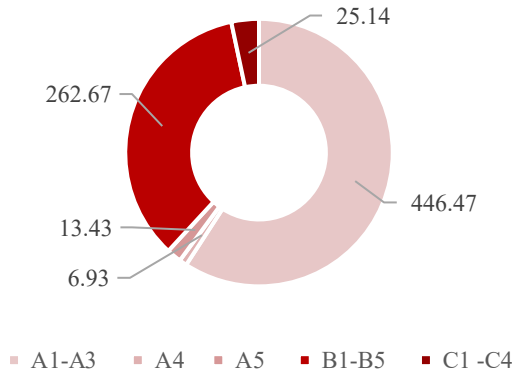

Figura 6. Emissioni di carbonio per fase del ciclo di vita.

Inoltre, l'analisi della distribuzione degli impatti evidenzia che le categorie di sottostrutture e quella riguardante gli impianti, costituiscono i principali contributori, con valori rispettivamente pari al 48%. Tale risultato è strettamente correlato alla natura prestazionale dell'edificio: un data center caratterizzato da requisiti impiantistici di elevata complessità, necessari per garantire le performance energetiche del sistema.

Le strutture di elevazione incidono per circa il 20%. La voce delle partizioni interne (presenti in poca quantità) con un impatto pari all'2% risulta poco rilevante e conferma la marginalità degli elementi secondari nel bilancio complessivo.

Il grafico (figura xx) illustra la distribuzione degli impatti ambientali relativi allo scenario di valutazione di carbonio incorporato calcolata sulla base della superficie GBA, considerando tutte le fasi legate all'intero ciclo di vita.

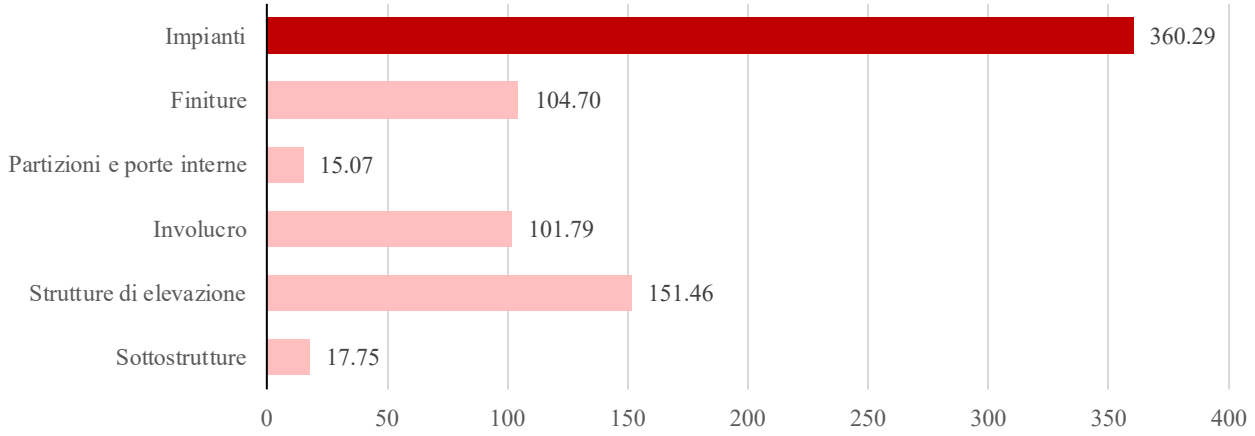

Figura 7. Incidenza dei sistemi costruttivi in $kgCO_{2e}/m^2$

3.4.2 Emissioni di Scope 3 – Cicli di produzione, costruzione e rinnovo (apparecchiature IT)

Le apparecchiature IT rappresentano una delle fonti più significative di emissioni indirette di gas serra all'interno della catena del valore dei data center. Sebbene le sezioni precedenti forniscano una quantificazione dettagliata delle emissioni incorporate associate ai materiali da costruzione, non includono ancora una valutazione delle emissioni di Scope 3 relative all'hardware IT, considerato come apparecchiatura dell'utente e bene operativo.

Stimare le emissioni delle apparecchiature IT, classificate come beni strumentali, è sfidante a causa della complessità di informazioni sui server, sui sistemi di archiviazione e sui dispositivi di rete specifici che verranno implementati, sui cicli di sostituzione previsti. Per fornire una rappresentazione più completa dell'impatto climatico del progetto, questa sottosezione introduce una metodologia stimativa per la stima delle emissioni Scope 3 a monte derivanti dalle apparecchiature IT.

L'approccio adottato si basa su dati di riferimento provenienti dallo strumento sviluppato da *Schneider Electric*, che consente la stima delle emissioni di Scope 3 delle apparecchiature IT sulla base del carbonio incorporato medio per unità di potenza IT associata a server e dispositivi di rete. Questi valori di carbonio incorporato sono tipicamente forniti dai produttori IT o derivati da metodologie riconosciute dal settore, come il modello PAIA (*Product Attribute to Impact Algorithm*), una piattaforma web progettata per valutare l'impronta ambientale dei prodotti delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (*Information and Communication Technology* - ITC).

Per questa analisi sono state esaminate due opzioni:

- **Opzione ad alto impatto**: valore predefinito di fascia alta pari a **9 tCO2/kW**, corrispondente al carbonio incorporato di un ipotetico rack contenente un mix rappresentativo di server di Dell, HP, Lenovo e IBM, come definito nello strumento di *Schneider Electric*.
- **Opzione a basso impatto**: valore di configurazione da minima a moderata pari a **5 tCO2/kW**, tratto dal *White Paper 99* di *Schneider Electric*.

Questi valori rappresentano il carbonio incorporato medio per unità di capacità del server, tenendo conto in linea di massima degli impatti associati al prodotto, alla costruzione e ai cicli di aggiornamento periodico delle apparecchiature IT.

Inoltre, sono state applicate le seguenti ipotesi di modellizzazione:

- Ripartizione tra server e rete: una ripartizione del 95% - 5% tra apparecchiature server e dispositivi di rete, in linea con la configurazione utilizzata nel modello Schneider Electric;
- Archiviazione dati: non indicata come dato separato, poiché il modello presuppone che il 100% dello spazio di archiviazione IT sia integrato nell'hardware del server;

- Intervallo di aggiornamento: si ipotizza che sia le apparecchiature server che quelle di rete abbiano un ciclo di sostituzione di 5 anni, sulla base della durata media delle apparecchiature riportata da Schneider Electric;
- Potenza IT considerata: la valutazione si basa su un carico IT totale di 30.8 MW.

I risultati delle emissioni di Scope 3 associate alle apparecchiature IT sono riportati di seguito, sia per le opzioni a basso impatto che per quelle ad alto impatto.

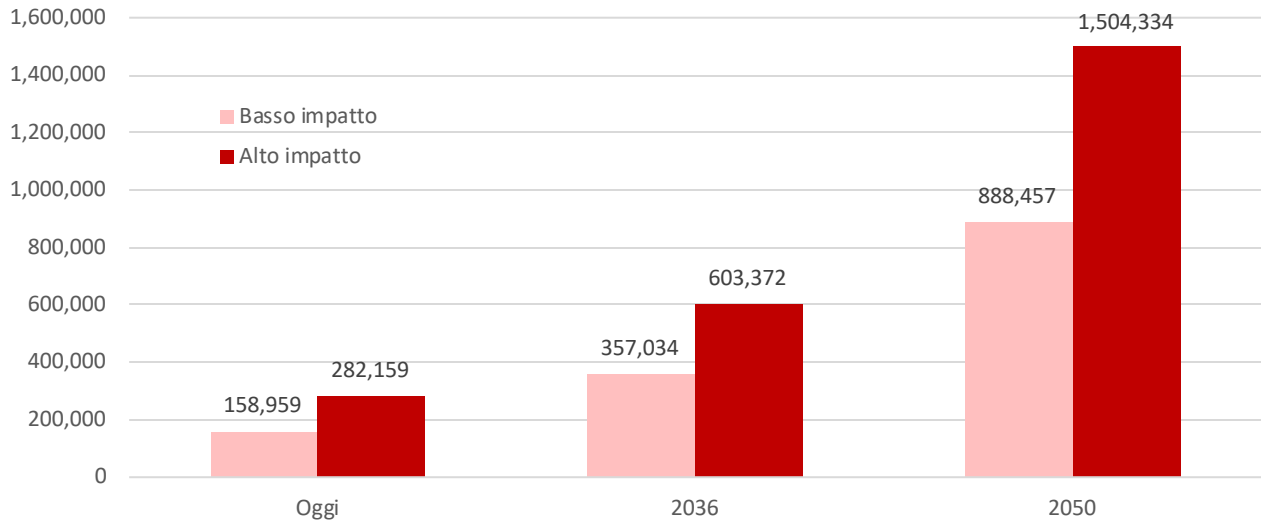

Figura 8. Opzioni ad alto e basso impatto: confronto temporale delle emissioni di Scope 3 associate all'IT.

Nell'ipotesi ad alto impatto, le emissioni aumentano bruscamente nel tempo, riflettendo l'effetto cumulativo del carbonio incorporato derivante dai cicli di rinnovo delle apparecchiature. Entro il 2050, tale scenario raggiunge valori superiori a 1,5 milioni di tCO2e. Ciò dimostra la significativa influenza della scala dell'infrastruttura IT sulle emissioni incorporate di Scope 3 a lungo termine. L'ipotesi a basso impatto comporta cifre assolute di Scope 3 inferiori, mostrando un aumento costante delle emissioni nel corso del periodo di analisi a causa del rinnovo periodico delle apparecchiature.

La tabella sottostante riassumono le analisi delle emissioni di carbonio incorporate associate al progetto del data centre. I soli dati numerici non rendono pienamente conto della complessità della situazione. Le emissioni di carbonio incorporate sono state valutate su un periodo fino a 2050.

Tabella 14. Sintesi degli impatti delle emissioni generate incorporate

Oggi	GWP TOTALE [tCO_2e]
Carbonio incorporato – Materiali di costruzione (tCO_2e)	8,984
Carbonio incorporato – apparecchiature IT (tCO_2e)* ***Basso impatto**	158,958
TOTALE	**167,943**
2050 (Cumulativo)	
Carbonio incorporato – Materiali di costruzione (tCO_2e)	14,039
Carbonio incorporato – apparecchiature IT (tCO_2e)* ***Basso impatto**	888,456
TOTALE	**902,496**

Per quanto riguarda la valutazione del carbonio incorporato, i risultati indicano che i moduli A1-A3 sono stati i principali responsabili del carbonio incorporato totale per i materiali di costruzione, principalmente a causa dell'elevata intensità di materiali normalmente necessaria per soddisfare le esigenze impiantistiche. Quando l'analisi include anche le emissioni associate al carbonio incorporato dell'equipaggiamento IT, queste diventano la componente dominante. A causa dei grandi volumi di server, storage e apparecchiature di rete che devono essere periodicamente sostituiti, il carbonio incorporato nell'hardware IT supera di gran lunga le emissioni legate ai materiali costruttivi del data center.

4. Analisi costi-benefici allaccio alla rete di teleriscaldamento

4.1 Assunzioni

L'analisi si concentra sulla stima dei consumi e delle emissioni di carbonio legate all'infrastruttura necessaria per il recupero del calore dal Data Centre in oggetto (*costi*), confrontandoli con la configurazione di riferimento priva di tale impianto. A valle del calcolo dell'intensità carbonica associata al nuovo sistema, questa è stata successivamente comparata con il relativo valore tipico delle reti di teleriscaldamento urbano (TLR), al fine di valutarne l'efficacia in termini di riduzione delle emissioni di CO_2 (*benefici*).

Tutte le analisi di seguito presentate sono basate su calcoli effettuati utilizzando dati climatici IWEC2 della stazione meteorologica di Milano Linate, senza quindi considerare l'impatto del cambiamento climatico futuro. Si evidenzia, infine, che in questa analisi si assume come dato la presenza di enti terzi (gestori ed energy provider) in grado di prelevare tutta l'energia termica recuperata.

Nel calcolo dei costi, sono stati considerati i consumi aggiuntivi legati alla presenza delle batterie di scambio all'interno del sistema di trattamento aria (DAHU), che comportano quindi un aumento delle perdite di carico, e un conseguente aumento dei consumi dei ventilatori.

Allo stesso modo, sono stati considerati, all'interno dei costi, i consumi relativi alle pompe di circolazione, necessarie al trasporto del fluido termovettore fino all'impianto di sollevamento della temperatura.

Pur essendo eventuale oggetto di discussione, si assume che tutto il costo operativo delle pompe di calore di innalzamento della temperatura siano in capo al gestore della rete. Per il consumo delle pompe di calore sono stati analizzati due scenari (*High* e *Medium*) in base alla temperatura di innalzamento dell'acqua richiesta dal funzionamento dell'impianto di teleriscaldamento ricevente il calore residuale:

- TLR_{High}: la pompa di calore innalza la temperatura dell'acqua in uscita dallo scambiatore da 25°C a 100°C (ΔT=75°C) con un'efficienza (COP) uguale a 3.
- TLR_{Medium}: la pompa di calore innalza la temperatura dell'acqua in uscita dallo scambiatore da 25°C a 75°C (ΔT=50°C) con un COP uguale a 4.5.

La differenza di temperatura dell'acqua a valle della batteria preposta al recupero di calore è stata assunta pari a 6°C. Questo valore risulta conservativo in quanto massimizza la portata necessaria, e quindi i relativi consumi.

In sintesi, i consumi aggiuntivi, o costi, provengono da:

- Un maggior consumo dei ventilatori delle unità di trattamento aria;
- Pompe di circolazione del circuito ad acqua dopo lo scambiatore;
- Pompe di calore che innalzano la temperatura dell'acqua in uscita dallo scambiatore.

La potenza IT del data center è pari a 30,8 MW. Assumendo un Energy Reuse Factor (ERF) conservativo, legato alla fase di progetto preliminare, tra 10% e 15% risulta possibile recuperare 4,6 MW di energia termica.

Nel modello di calcolo è stato considerato che il calore sia recuperabile quando la temperatura è inferiore a 15,5°C, questo per motivazione tecniche costruttive eventualmente modificabili, ipotizzando quindi che ci siano dei ricettori che possano andare oltre la stagione classica di riscaldamento per la zona climatica E (15 ottobre –

15 aprile). Questa ipotesi potrebbe essere valida nei casi di eventuali consumatori permanenti (ad es.: impianti sportivi, ospedali, edifici o complessi industriali, etc.), oppure di utilizzo da parte dell'energy provider di assorbitori, in grado di generare freddo.

4.2 Riferimenti

In base ai dati di progetto, ai dati recepiti dal proponente tramite schede tecniche e da esperienza pregressa, sono stati assunti i seguenti dati di input:

Tabella 15 - Dati di input per il calcolo

Dati di Input		
Potenza totale IT (edificio A)	30,8	MWe
Energy Reuse Factor (ERF) - ipotesi	13%	-
Potenza recuperabile (edificio A)	4,6	MWe
Temperatura di funzionamento	<15,5	°C
DAHU		
Potenza ventilatori senza raffr. evaporativo, senza batteria di recupero	27,60	kW
Potenza ventilatori con raffr. evaporativo, senza batteria di recupero	31,10	kW
Numero ventilatori	62	-
Potenza ventilatori senza raffr. evaporativo, con batteria di recupero	34,20	kW
Potenza ventilatori con raffr. evaporativo, con batteria di recupero	38,10	kW
Pompe di circolazione		
Portata d'acqua a pieno carico	183,90	Kg/s
ΔT (acqua)	6,00	°C
Efficienza motore e organo meccanico	0,80	-
Perdite distributite	87,50	kPa
Perdite Scambiatori	80,00	kPa
Perdite concentrate (40% del totale)	35,00	kPa
Pannelli evaporativi		
Temperatura esterna di attivazione	> 28,80	°C

I risultati ottenuti dall'analisi del recupero di calore sono stati confrontati con due valori di intensità carbonica differenti che rappresentano due tipologie di rete di teleriscaldamento diverse:

- TLR1, rete con alta percentuale di energia proveniente da termovalorizzatore e con intensità carbonica 50 kgCO2e/MWh,th (valore estremamente basso in quanto le emissioni del termovalorizzatore sono considerate nulle).
- TLR2, rete senza impianto termovalorizzatore e con intensità carbonica 170 kgCO2e/MWh,th.

Infine, per valutare l'impatto dei consumi elettrici aggiuntivi si è considerato un valore di intensità carbonica pari 200 kgCO2e/$MWh_{,el}$. Questo valore corrisponde al dato della rete elettrica in Italia al 2026, come definito dallo standard CRREM v.2 e riportato in Figura 9.

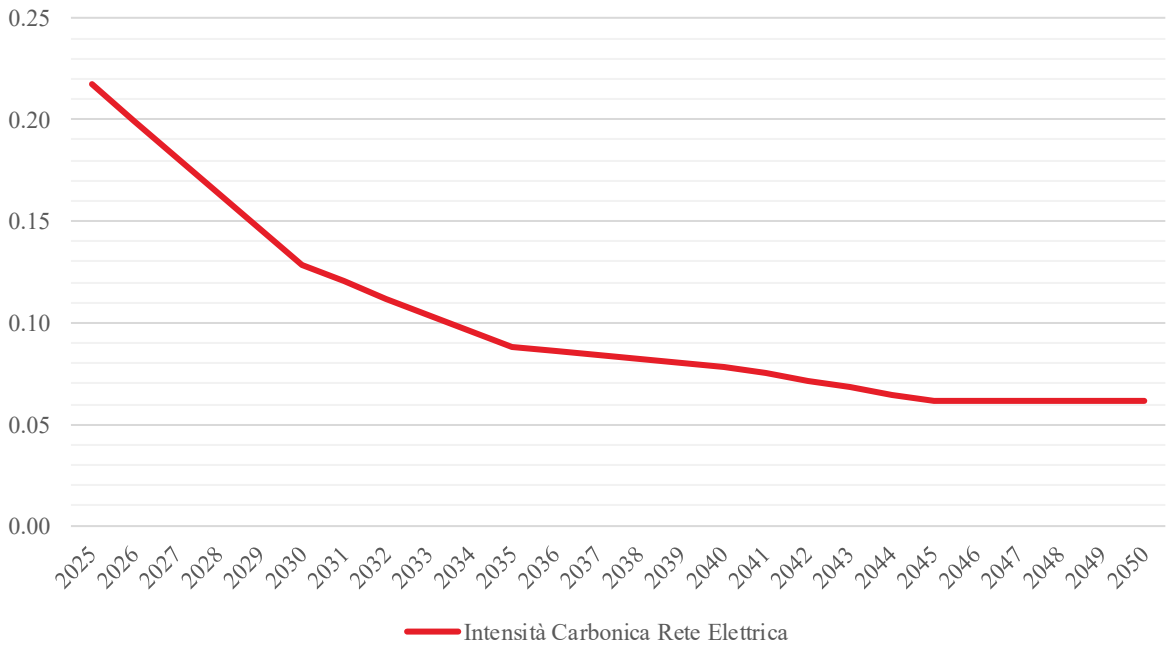

Figura 9 - Intensità carbonica della rete elettrica nazionale (CRREM v2.0)

Tutti i calcoli sono basati sui dati sopra riportati, secondo le metodologie e le formule indicate di seguito. Tutte le assunzioni saranno da verificare nelle successive fasi di progetto.

4.3 Metodo di calcolo

Per il calcolo delle emissioni del sistema di recupero di calore, inteso come il rapporto tra le emissioni di carbonio aggiuntive per unità di energia recuperata, sono stati seguiti i seguenti passaggi, dettagliati nei successivi paragrafi:

1. Calcolo orario della potenza recuperabile;
2. Calcolo dei consumi elettrici aggiuntivi dai ventilatori delle DAHU dovuti alla batteria di recupero;
3. Calcolo dei consumi elettrici derivanti dall'utilizzo delle pompe di circolazione, per portare il fluido termovettore dalla batteria alla pompa di calore;
4. Calcolo dei consumi elettrici derivanti dall'utilizzo di pompe di calore per l'innalzamento della temperatura a 75°C o 100°C per l'immissione in rete;
5. Calcolo dell'energia termica ceduta alla rete;
6. Calcolo delle emissioni di carbonio associate ai consumi elettrici aggiuntivi;
7. Calcolo dell'indice di intensità carbonica annuale.

Di seguito si descrivono nel dettaglio i passaggi principali.

4.3.1 Consumi elettrici aggiuntivi dai ventilatori delle unità di trattamento aria

Tali consumi, sono stati calcolati sottraendo la potenza dei ventilatori per il datacenter con l'aggiunta della batteria di recupero, con quella della configurazione senza recupero, e infine moltiplicata per il numero di ventilatori pari a 62. Ai fini di rendere il calcolo più preciso, si è considerata inoltre la diversa potenza del ventilatore a seconda del carico IT del data centre, utilizzando la scheda tecnica del ventilatore che fornisce un valore di potenza differente per ogni carico come riportato nella Tabella 2 nel capitolo dei consumi energetici del presente documento.

Il consumo totale dei ventilatori sarà quindi pari a 7.747 MWh, di cui 1.607 MWh aggiuntivi.

4.3.2 Consumi elettrici delle pompe di circolazione

I consumi delle pompe di circolazione, solo nei periodi in cui il recupero di calore è attivo, sono stati calcolati per ogni ora come indicato in Equation 1.

Equation 1

$$P = \dot{m} \cdot \Delta P$$

Dove:

- P è la potenza delle pompe in kW,el
- $\dot{m}$ è la portata massica di acqua in kg/s.
- ΔP è la perdita di pressione totale in Pa.

La portata massica è stata calcolata a partire dalla potenza termica recuperata conoscendo la differenza di temperatura dell'acqua. La perdita di pressione totale è stata calcolata sommando i contributi delle perdite concentrate della batteria di recupero e dello scambiatore e le perdite distribuite lungo i tubi di scorrimento dell'acqua, come definiti nel Paragrafo 4.2.

La portata d'acqua nel periodo di recupero varia a seconda dell'energia recuperata e quindi in base al carico IT del Data Centre. L'energia consumata dalle pompe di circolazione in un anno sarà quindi pari a 144,92 $MWh_{,el}$

4.3.3 Consumi elettrici delle pompe di calore

I consumi delle pompe di calore sono stati stimati dividendo la potenza termica recuperata per il COP della macchina ipotizzata, come riportato nel Paragrafo 4.1, e indicato in Equation 2.

Equation 2

$$P_{Pdc,TLR\,High} = \frac{P_{IT}}{COP_{TLR\,High}} = \frac{3.080\ kW,el}{3} = 1027\ kW,el$$

$$P_{Pdc,TLR\,Medium} = \frac{P_{IT}}{COP_{TLR\,Medium}} = \frac{3.080\ kW,el}{4{,}5} = 684\ kW,el$$

Dove:

- $P_{Pdc,TLR\,High}$ è la potenza delle pompe di calore per lo scenario TLR High in kW,el
- $P_{Pdc,TLR\,Medium}$è la potenza delle pompe di calore per lo scenario TLR Medium in kW,el
- P_{IT} è la potenza IT del Data Centre in kW,el
- $COP_{TLR\,High}$ è il COP per lo scenario TLR High
- $COP_{TLR\,Medium}$ è il COP per lo scenario TLR Medium

Ricordando che l'energia recuperata dal Data Centre dipende dal carico IT e dalla temperatura esterna dell'aria, l'energia consumata dalle pompe di calore sarà pari a 3.195 $MWh_{,el}$ nello scenario TLR Medium e 4.793 $MWh_{,el}$ nello scenario TLR High.

4.3.4 Calcolo dell'intensità carbonica

In fine, è stata calcolata l'intensità carbonica convertendo i consumi elettrici aggiuntivi in emissioni di CO2 utilizzando il fattore di intensità carbonica per l'elettricità della rete nazionale dell'anno 2024 secondo il CRREM versione 2 (0.229 kg CO2/kWh).

Equation 3

$$CF_{TLR\,High} = \frac{E_{a,TLR\,High}}{E_r}$$

$$CF_{TLR\,Medium} = \frac{E_{a,TLR\,Medium}}{E_r}$$

Dove:

- $CF_{TLR\,High}$ è l'intensità carbonica del sistema recupero di calore nello scenario TLR High in $kgCO_{2e}$/MWh,th
- $CF_{TLR\,Medium}$ è l'intensità carbonica del sistema recupero di calore nello scenario TLR Medium in $kgCO_{2e}$/MWh,th
- $E_{a,TLR\,High}$ sono le emissioni correlate ai consumi aggiuntivi nello scenario TLR High del sistema recupero di calore in tonnellate di CO_2
- $E_{a,TLR\,Medium}$ sono le emissioni correlate ai consumi aggiuntivi nello scenario TLR Medium del sistema recupero di calore in tonnellate di CO_2
- E_r è l'energia termica recuperata totale in MWh,th

Tabella 16. Confronto intensità carbonica recupero di calore e reti di teleriscaldamento

Analisi Intensità Carbonica	Valore	Unità di misura
Intensità Carbonica TLR1 - Termovalorizzatore	50	kgCO2e/MWh,t
Intensità Carbonica TLR2 - no Termovalorizzatore	170	kgCO2e/MWh,t
Intensità Carbonica elettricità 2024	229	kgCO2e/MWh,e
OUTPUT - TLR Medium	**Valore**	**Unità di misura**
Consumo elettrico no HR (solo DAHU)	6,140	MWh,e
Consumo elettrico aggiuntivo (solo DAHU)	1,607	MWh,e
Consumo elettrico aggiuntivo (solo Pompe)	145	MWh,e
Consumo elettrico aggiuntivo (solo PdC)	3,195	MWh,e
Consumo elettrico aggiuntivo	**4,947**	MWh,e
Emissioni aggiuntive	1,132,861	kg CO2e
Recupero termico	**14,380**	**MWh,t**
Intensità Carbonica heat recovery	**78.78**	**kgCO2e/MWh,t**
Confronto con TLR1 - Termovalorizzatore	**157.56%**	**-**
Confronto con TLR2- no Termovalorizzatore	**46.34%**	**-**
OUTPUT - TLR High	**Valore**	**Unità di misura**
Consumo elettrico no HR (solo DAHU)	6,140	MWh,e
Consumo elettrico aggiuntivo (solo DAHU)	1,607	MWh,e
Consumo elettrico aggiuntivo (solo Pompe)	145	MWh,e
Consumo elettrico aggiuntivo (solo PdC)	4,793	MWh,e
Consumo elettrico aggiuntivo	**6,545**	MWh,e
Emissioni aggiuntive	1,498,746	kg CO2e
Recupero termico	**14,380**	**MWh,t**
Intensità Carbonica heat recovery	**104.23**	**kgCO2e/MWh,t**
Confronto con TLR1 - Termovalorizzatore	**208.45%**	**-**
Confronto con TLR2 - no Termovalorizzatore	**61.31%**	**-**

4.4 Verifica dei potenziali ricettori di calore

In questo contesto, il recupero di calore dal data centre in oggetto si configura come una soluzione concreta e scalabile per incrementare la disponibilità di energia termica a basse emissioni, contribuendo alla decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente. Tuttavia, dal punto di vista infrastrutturale, l'assenza di reti di teleriscaldamento pubblico nelle immediate vicinanze del sito costituisce una criticità, rendendo necessario valutare soluzioni alternative di valorizzazione locale del calore recuperato.

Alla luce di tali considerazioni, l'analisi si è concentrata sull'individuazione di potenziali recettori termici nelle vicinanze del sito. In particolare, sono stati identificati tre ambiti territoriali che presentano caratteristiche favorevoli per l'integrazione del calore recuperato: Milano 3 (Basiglio), il comune di Rozzano e il territorio di Zibido San Giacomo, in cui si localizza il data center stesso. Nei successivi paragrafi vengono analizzate le caratteristiche generali di ciascun recettore, con particolare riferimento alla domanda termica stimata, alla configurazione impiantistica esistente e alle possibili modalità di integrazione del calore recuperato.

Nella tabella seguente è possibile trovare una sintesi dei ricettori e delle analisi condotte.

Tabella 17. Sintesi dei potenziali heat offtakers.

Heat Offtakers	Distanza	Fabbisogno termico recuperabile	Riduzione intensità carbonica (TLR High)	Riduzione intensità carbonica (TLR Med)	Note
Basiglio	2 km	39,7 GWh/anno residenziale 3,7 GWh/anno centro sportivo 1,0 GWh/anno scuole Totale: circa 44,4 GWh/anno	39% rispetto a TLR convenzionale 49% rispetto a gas naturale	54% rispetto a TLR convenzionale 61% rispetto a gas naturale	Area residenziale compatta e pianificata, con circa 3.200 alloggi e 105 ville monofamiliari. Presenza di una rete di teleriscaldamento privata potenzialmente favorevole all'integrazione del calore recuperato. La domanda residenziale è marcata da forte stagionalità, mentre la produzione termica del data center è pressoché costante durante l'anno; da valutare integrazione con altre utenze o accumulo termico.
Rozzano	1,5–1,7 km	123,8 GWh/anno già serviti dalla rete TLR esistente 17,3 GWh/anno quota prioritaria sostituibile da caldaie 86,7 GWh/anno fabbisogno residuo coperto da cogenerazione, caldaie e altre fonti di recupero	49% rispetto a gas naturale	61% rispetto a gas naturale	Contesto favorevole grazie alla presenza di una rete di teleriscaldamento esistente con una estensione di circa 30 km, con potenza installata pari a 80,55 MW e picco di richiesta pari a 61,9 MW. La rete è già alimentata in parte da calore recuperato, incluso quello proveniente dal data center TIM. L'integrazione del calore recuperato dal data center in oggetto potrebbe contribuire alla progressiva decarbonizzazione del mix, con priorità alla sostituzione della quota oggi coperta da caldaie.
Zibido San Giacomo	1,6 km	43,05 GWh/anno complessivi di cui 26,1 GWh/anno industriale circa 17,0 GWh/anno residenziale	49% rispetto a gas naturale	61% rispetto a gas naturale	Comune in cui si colloca il data center, attualmente privo di una rete di teleriscaldamento esistente. Il fabbisogno stimato deriva da superfici industriali e residenziali individuate nel PGT entro un raggio di circa 1,60 km dal sito. La componente industriale presenta un profilo di consumo potenzialmente più continuo durante l'anno, utile a mitigare la stagionalità della domanda residenziale. Sarebbe tuttavia necessaria la realizzazione ex novo di un'infrastruttura di distribuzione termica.

4.4.1 Basiglio

Basiglio (Milano 3), distante circa 2 km dal data center, rappresenta uno dei principali potenziali recettori di calore nell'area di analisi. Si tratta di un complesso residenziale pianificato caratterizzato da una prevalenza di edifici ad uso abitativo, con una struttura urbanistica compatta e una gestione relativamente omogenea degli impianti. Sulla base dei dati disponibili, il complesso comprende circa 3200 alloggi e 105 ville monofamiliari. Assumendo un fabbisogno termico medio annuo pari a 12 MWh per appartamento, il fabbisogno complessivo per il solo settore residenziale è stimabile in circa 39,7 GWh/anno, configurando quindi Basiglio come un bacino di domanda particolarmente rilevante. Si segnala inoltre la presenza di una rete di teleriscaldamento privata, che potrebbe costituire una base infrastrutturale favorevole per l'integrazione del calore recuperato. La tipologia prevalente di *heat offtaker* risulta pertanto di natura residenziale; tuttavia, sono presenti anche alcune utenze non residenziali che contribuiscono alla domanda termica locale. Tra queste si segnala il centro sportivo Sporting Milano 3, che si estende su una superficie di circa 38.700 m² e presenta un fabbisogno termico annuo stimato in circa 3,7 GWh. Tale valore è stato ottenuto considerando un consumo specifico di 120 kWh/ m² anno, tipico di strutture sportive con utilizzo continuativo durante l'intero arco dell'anno. Ulteriori recettori sono rappresentati dal sistema scolastico locale (la Scuola Materna Archimede, l'Istituto Comprensivo di Basiglio e la Scuola Ovest Gulliver) che nel complesso raggiunge un fabbisogno termico prossimo a 1 GWh/anno, stimato sulla base delle superfici e di un consumo specifico pari a 100 kWh/ m² anno.

Come riferito in precedenza, assumendo un'operatività continua del datacenter, la potenza termica recuperabile massima a pieno carico, si traduce in una produzione annua di energia termica pari a circa 40,3 GWh. Tale valore risulta sostanzialmente equivalente (102%) al fabbisogno termico residenziale stimato per l'area di Milano 3. Tuttavia, è opportune evidenziare come il fabbisogno termico del settore residenziale presenti una marcata stagionalità, concentrandosi prevalentemente nei mesi invernali, mentre la generazione di calore da datacenter risulta pressoché costante durante l'intero anno. Questo disallineamento temporale tra domanda e offerta rappresenta un aspetto da approfondire ai fini dell'effettivo sfruttamento dell'energia recuperate, rendendo necessario valutare soluzioni di integrazione con alter utenze o sistemi di accumulo termico.

Dal punto di vista ambientale, considerando un fattore di *carbon emission* del gas naturale pari a 203 $kgCO_2e/MWh_t$ e di una rete di teleriscaldamento convenzionale (TLR2, senza contributi da termovalorizzazione) pari a 170 $kgCO_2e/MWh_t$, le emissioni associate al solo fabbisogno residenziale ammonterebbero rispettivamente a circa 8 $ktCO_2e$/anno e 7 $ktCO_2e$/anno. Nel caso di copertura del fabbisogno mediante calore recuperato, assumendo un'intensità carbonica di pari a 79 $kgCO_2e/MWh_t$ (scenario TLR Mid - Media temperatura), si otterrebbe una riduzione delle emissioni pari a circa il 61% rispetto all'utilizzo di gas naturale e del 54% rispetto al teleriscaldamento convenzionale. In uno scenario più conservativo (TLR High – Alta temperatura), caratterizzato da un'intensità carbonica pari a 104 $kgCO_2e/MWh_t$, le riduzioni risulterebbero pari rispettivamente al 49% e al 39%.

4.4.2 Rozzano

Rozzano rappresenta un ambito territoriale caratterizzato da una maggiore eterogeneità dei consumi rispetto al caso di Basiglio (Milano 3), includendo utenze di tipo residenziale, terziario e industriale. Il Comune, distante circa 1,5/1,7 km dal data center, si estende su una superficie complessiva di circa 12,24 km² e conta una popolazione pari a circa 42.000 abitanti, configurandosi come un bacino di domanda termica significativo e diversificato. Sulla base di stime aggregate del fabbisogno termico pro capite, la domanda complessiva annua dell'area può essere valutata in circa 207,8 GWh.

Tuttavia, una quota rilevante di tale fabbisogno risulta già servita da una rete di teleriscaldamento esistente, sviluppata a partire dal quartiere ALER e progressivamente estesa al resto del territorio comunale. Al 2025, la rete di teleriscaldamento di Rozzano presenta un'estensione pari a circa 30,25 km, con una potenza termica installata di 80,55 MW e un picco di richiesta pari a 61,9 MW, dal sito di ATMOS Rozzano (gestore della rete di teleriscaldamento). Assumendo circa 2.000 ore equivalenti di funzionamento alla potenza di picco, il fabbisogno termico effettivamente servito dalla rete risulta pari a circa 123,8 GWh/anno. Dal punto di vista delle fonti di approvvigionamento, la rete è alimentata da un mix costituito per il 14% da energia termica prodotta da caldaie, per il 49% da cogenerazione e per il 37% da calore recuperato. All'interno di quest'ultima quota, circa il 30% è attribuibile al recupero di calore proveniente dal datacenter TIM, corrispondente a circa 37,1 GWh/anno.

Alla luce di tali dati, il fabbisogno residuo, pari a circa 86,7 GWh/anno, attualmente coperto da cogenerazione, caldaie e ulteriori fonti di recupero, potrebbe essere parzialmente soddisfatto mediante l'integrazione del calore recuperato dal datacenter oggetto di studio, in un'ottica di progressiva decarbonizzazione del mix energetico della rete. In particolare, la quota di fabbisogno attualmente coperta da caldaie, pari a circa 17,3 GWh/anno, rappresenta il segmento prioritario di sostituzione, in quanto associato ai maggiori livelli di emissione. Assumendo che tali caldaie siano alimentate a gas naturale, le emissioni corrispondenti ammontano a circa 3,5 $ktCO_2e$/anno. Qualora questo stesso fabbisogno venisse coperto mediante calore recuperato da datacenter, le emissioni si ridurrebbero a circa 2 $ktCO_2e$/anno nello scenario più conservativo (TLR High, *carbon emission* stimata di 104,23 $kgCO_2e/MWh_t$) e a circa 1,4 $ktCO_2e$/anno nello scenario più virtuoso (TLR Med, *carbon emission* stimata di 78,78 $kgCO_2e/MWh_t$), con una riduzione rispettivamente pari al 49% e al 61%.

La presenza di una rete di teleriscaldamento già sviluppata e alimentata in parte da calore di recupero rende dunque Rozzano un contesto particolarmente favorevole per l'integrazione di ulteriori sorgenti termiche, consentendo di valorizzare sinergie infrastrutturali esistenti e accelerare il processo di decarbonizzazione del sistema energetico locale. Inoltre, la distanza tra il datacenter in esame e la rete esistente, pari a circa 1,5 km, risulta compatibile con un'estensione infrastrutturale realizzabile.

4.4.3 Zibido San Giacomo

Zibido San Giacomo, comune in cui si colloca il datacenter, rappresenta un contesto differente rispetto ai casi precedenti, in quanto attualmente privo di una rete di teleriscaldamento esistente. In particolare, considerando un raggio di circa 1,60 km dal sito del DC, il PGT consente di individuare circa 434.400 m² di superficie a destinazione industrial e 283.000 m² a destinazione residenziale. Ai fini della stima del fabbisogno termico, si è assunto un coefficiente di utilizzo pari al 60% delle superfici disponibili e un fabbisogno specifico medio di 100 kWh/m²·anno per entrambe le destinazioni d'uso. Tale valore è stato adottato in via cautelativa alla luce dell'elevata eterogeneità delle attività industriali presenti, comprendenti sia funzioni a bassa intensità energetica (logistica e magazzini) sia attività più energivore (ad esempio fonderie e lavorazione di materie plastiche). Sulla base di tali ipotesi, il fabbisogno termico complessivo dell'area risulta pari a circa 43,05 GWh/anno, di cui circa 26,1 GWh/anno attribuibili al comparto industriale. Quest'ultimo presenta un profilo di consumo relativamente continuo lungo l'intero arco dell'anno, configurandosi come un *heat offtaker* particolarmente interessante in grado di mitigare il disallineamento stagionale tipico degli usi residenziali.

Analogamente a quanto osservato per gli altri ambiti analizzati, l'energia termica potenzialmente recuperabile dal datacenter (stimata in circa 40 GWh annui) risulta comparabile al fabbisogno complessivo stimato, rendendo possibile una copertura pressoché integrale della domanda locale nelle immediate vicinanze del sito. Tuttavia, in assenza di una rete di teleriscaldamento esistente, sarebbe necessario prevedere la realizzazione ex novo di un'infrastruttura di distribuzione termica, con implicazioni rilevanti dal punto di vista tecnico ed economico.

Dal punto di vista ambientale, qualora il fabbisogno termico fosse interamente coperto mediante gas naturale, le emissioni annue ammonterebbero a circa 9 $ktCO_2e$. L'impiego di calore recuperato dal datacenter consentirebbe invece di ridurre tali emissioni a circa 3,4 $ktCO_2e$ nello scenario TLR Mid (*carbon emission factor* di 78,78 $kgCO_2e/MWh_t$) e a 4,5 $ktCO_2e$ nello scenario TLR High (*carbon emission factor* 104,23 $kgCO_2e/MWh_t$), corrispondenti a riduzioni rispettivamente pari al 61% e al 49%.

4.5 Conclusioni

Dall'analisi condotta emerge che il recupero del calore di scarto rappresenta una soluzione energeticamente ed ambientalmente vantaggiosa rispetto ai sistemi di riscaldamento tradizionali. In particolare, il fattore di emissione associato al calore recuperato risulta sistematicamente inferiore rispetto a quello delle caldaie convenzionali e delle reti di teleriscaldamento prive di contributi da termovalorizzazione.

Solo nel caso di reti caratterizzate da una significativa quota di energia derivante dalla termovalorizzazione dei rifiuti urbani si possono osservare fattori di emissione comparabili o superiori. Tuttavia, tali fonti risultano intrinsecamente limitate in termini di espandibilità, rendendo il recupero di calore dai datacenter una soluzione concreta e scalabile per incrementare la disponibilità di energia termica a basse emissioni, contribuendo alla decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente.

Dal punto di vista infrastrutturale, l'assenza di reti di teleriscaldamento pubblico nelle immediate vicinanze del sito rappresenta una criticità, richiedendo approfondimenti con i gestori delle reti esistenti per eventuali estensioni o allacciamenti. In alternativa, risulta opportuno valutare il collegamento a reti private di sviluppi residenziali limitrofi, preferibilmente dotati di centrali termiche centralizzate e gestioni strutturate.

Per quanto riguarda l'impatto sul datacenter, il recupero di calore comporta un lieve peggioramento dell'indicatore di efficienza energetica (PUE) dovuto ai consumi elettrici aggiuntivi, comunque marginale (+0,06%). Tale effetto è compensato da benefici ambientali rilevanti, tra cui la riduzione dell'effetto isola di calore e delle emissioni di aria calda in atmosfera, con conseguente miglioramento del microclima locale.

Infine, si evidenzia come ulteriori sviluppi dell'analisi potrebbero riguardare l'estensione del recupero termico anche alla stagione estiva, subordinatamente all'individuazione di utenze con fabbisogno termico continuo (ad esempio industrie, piscine o centri sportivi). Tale approccio consentirebbe di massimizzare il recupero energetico annuale, riducendo al contempo i consumi idrici e gli impatti ambientali nei periodi più critici.

Data l'analisi progettuale del presente progetto e il non coinvolgimento di soggetti interessati a soluzioni di recupero calore e/o società energetiche, non è stato possibile eseguire una analisi quantitativa dei costi capitali di costruzione e dei costi operativi relativi al funzionamento dell'intera rete funzionante con recupero di calore. Si evidenzia inoltre che il recupero di calore avrebbe degli impatti benefici anche sul microclima locale vicino al datacenter, riducendo l'effetto isola di calore con impatti differenti a seconda del periodo dell'anno in cui il recupero di calore venga considerato attivo.

In base all'analisi presentata, il soggetto proponente si dichiara disponibile a predisporre le infrastrutture necessarie al recupero di calore relative limitandosi alle apparecchiature ausiliare sui sistemi di condizionamento (e.g. la batterie di recupero sui sistemi di trattamento aria DAHU) e ai tubi di circolazione del calore recuperato fino al confine del sito, permettendo il collegamento con le necessarie infrastrutture di innalzamento temperatura che vengono considerate di competenza dell'eventuale ente gestore della rete di teleriscaldamento.

Si rimanda a una fase successiva il coinvolgimento con tali operatori interessati al recupero di calore e l'analisi quantitativa che consideri sia i costi di implementazione del recupero di calore che le esternalità positive derivanti da tale implementazione, come la riduzione dell'effetto isola di calore e la decarbonizzazione di consumi esistenti.